Shinshu University Journal of Educational Research and Practice, *No.11*, pp. 85-96, 2017
信州大学教育学部研究論集　第11号　pp. 85-96　2017年

＜学術論文＞

冬季に日本海上で発生する筋状雲の教材開発

花井嘉夫[1]　　**信州大学大学院教育学研究科**
尾町光太[2]　　**信州大学教育学部**
榊原保志　　**信州大学学術研究院教育学系**

キーワード：日本の天気，スケールモデル，気象教育，筋状雲

１．はじめに

自然現象を対象とする理科教育では，理解を進めるために実験や観察の効果的な利用が必要不可欠である。理科四分野，物理・化学・生物・地学の中でも地学は地球，宇宙，気象など他の分野と比べて時間的空間的スケールが大きな対象を扱うことが多い分野である。そのため，教室内や校内で実施可能な実験観察は必ずしも多くない。それを補うため授業では視聴覚教材等を利用することが多くなり，生徒自らが実験観察に取り組み理解を進める授業が実施しにくい現状がある。そこで自然現象の本質を失わず，スケールを教室内で実験可能なサイズに縮小したモデル実験が生徒の理解を進めるため有効である。気象単元における冬の日本の天気に関するモデル実験の開発をめざすため，まず気象単元におけるモデル実験の必要性を検討する。

中学校学習指導要領によれば、中学校理科における気象の内容は，第２学年において「気象とその変化」という単元で取り扱われ，気象観測，天気の変化，日本の気象の３つの中単元から構成される。日本の気象は，「天気図や気象衛星画像などから，日本の天気の特徴を気団と関連付けてとらえること」と「気象衛星画像や調査記録などから，日本の気象を日本付近の大気の動きや海洋の影響に関連付けてとらえること」が示されている。後者については，中学校学習指導要領解説（文部科学省，2008）の中で，「日本の天気に影響を与える気団の性質や季節風の発生，日本海側の多雪などの特徴に，海洋がかかわっていることを理解させる」との記述がある。

平成15年度小・中学校教育課程実施状況調査(国立教育政策研究所,2005)によれば，中学２年の単元別の内容のうち気象に関わる内容で「よくわかる」と回答した生徒の割合は，32.8%(8小単元中7位)となっていて他の小単元と比べて低く，気象単元は生徒にとって分かりにくい単元の一つであるといえる。その理由として，大気現象の規模が大きく観察実験ができる教材が不足していることが考えられる。そのためこの小単元は天気図や気象衛星画像を用いた説明中心の授業となり，直接観察実験を通して生徒が主体的に探究し理

---

[1] 現所属：信州大学教育学部研究生，木曽青峰高等学校

[2] 現所属：長野日本大学中学・高等学校

解を進める学習になりにくい状況であった。

この小単元の中で日本の冬の天気は，低温で乾燥したシベリア気団の影響を強く受け，日本海側で雪や雨が降り太平洋側で乾燥した晴天が続く特徴を持つ。この学習においては，シベリア気団から吹き出す寒気が相対的に暖かい日本海をわたるとき大量の水蒸気を含むことを通して，海洋との関わりを理解させる必要がある。授業では気象衛星画像を用いて，冬季日本海上に発生する筋状雲を示し説明することが多い。しかし海面温度が高くても 10 数度の冬季日本海面から蒸発が盛んに起こることやそれが筋状雲の形成につながることは，生徒には分かりにくい内容と考えられる。そのためこの現象の理解を進めるためにはモデル実験の必要性が高く，実験教材がいくつか開発されてきた。

冬季日本海上でたびたび見られる筋状雲を作るモデル実験には，大陸に見立てた斜面と湯を張ったバットを用いるものがある。ドライアイスが入ったビーカーを段ボール箱に入れ，その箱を斜面上部に置く。ドライアイスが気化して発生した二酸化炭素が空気と混合して白い煙となって流れ出す。その煙は箱の下に開けたスリット上の出口から斜面に出てくる。この煙がバットの水面上までくると筋状の渦が並ぶのが観察される（名越・木村，1994）。ドライアイスは優れた保冷剤であるが，管理が容易ではなくコスト面でも負担の大きいため，教育現場ではあまり利用されていない。

間處ら(2012)は氷を入れたペットボトルの飲み口に自転車の空気ポンプをつなぎ，ペットボトルの側面にスリットをあけた冷気を発生する装置を開発した。この装置を利用した実験ではドライアイスを氷に変更したため冷源の管理やコスト面の負担がへり，雲は冷気発生装置から直接出るのではなく冷気がお湯の入ったバット上に達するところで筋状雲が発生した。しかし，発生した雲の濃度が低いため雲を明瞭に観察できないという課題が残っていた。

そこで，本研究では明瞭な筋状雲とならない理由として押し出された空気の性質に注目した。電動ファンを利用することで間欠的に流れ出ていた空気を一定の速さで定常的に流れ出すようにし，送風口の出口の前にセルを取り付けて流れ出す空気の乱れを小さくした。その結果，筋状雲が明瞭に観察できるようになった。あわせて教育現場での普及を考慮し，製作が容易であることと安価であることに配慮した実験装置を開発したので，ここに報告する。

２．冬季日本周辺海上に発生する筋状雲のでき方

日本は温帯気候に属し，１年を通して降水が比較的多く見られる。大陸の東岸に位置し，気温の年較差が大きい。

冬季には，筋状雲や西高東低の気圧配置といった用語が天気予報番組などでたびたび取り上げられる。太平洋側はよく乾燥し晴天日が続くが，日本海側は雨天日や曇天日が多くなる。ユーラシア大陸では放射冷却が強まり，空気の密度は大きくなり，その結果シベリア高気圧が形成される。寒冷で乾いた空気は四方へ流出をはじめ，経路によって種々の変

質を受ける。日本付近では冬の北西季節風が吹走し，日本海上で多量の顕熱と水蒸気の供給を受ける。このため下層から変質し，不安定となって積雲を生じ，日本列島の沿岸に達するころには雲が厚く雲底も低くなっている（吉野ほか，1985)。日本海上の積雲対流は，孤立した積雲，T モードの積雲バンド，L モードの積雲バンドに分類される（二宮，2008）。孤立した積雲は単一の積雲対流として発生・発達・消滅の過程をたどる積雲，T モードの積雲バンドは風向に直行する積雲バンド（筋状雲），L モードの積雲バンドは対流混合層内の風向，あるいは雲の鉛直シャーベクトルの方向に沿って伸びる積雲バンド（筋状雲）を指す。きわめて近接した海域でT モードの積雲バンド，L モードの積雲バンドが共存する場合もある。

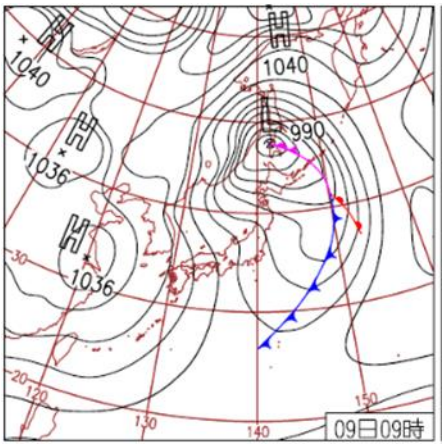


図 1　天気図（2015 年 2 月 9 日 9 時，気象庁予報部予報課）

図 1 は 2015 年 2 月 9 日 9 時の天気図である。当日の天気概況は「強い寒気に覆われ，風が強く寒い一日。北陸を中心に本州で大雪。新潟県小出で日降雪量 72cm。北海道えりも岬で最大瞬間風速 30.5m/s。全国の 9 割に近い 810 地点で冬日。」とされる（気象庁予報部予報課，2015)。バイカル湖付近に 1040hPa，中国・華北付近に 1036hPa の高気圧があり，北海道北方海上には 990hPa の低気圧があった。図 2 は 2015 年 2 月 9 日 9 時の赤外画像である。図からわかるように，大陸に近い日本海域には雲は存在しないが，日本の周辺海上に筋状雲が形成されている。

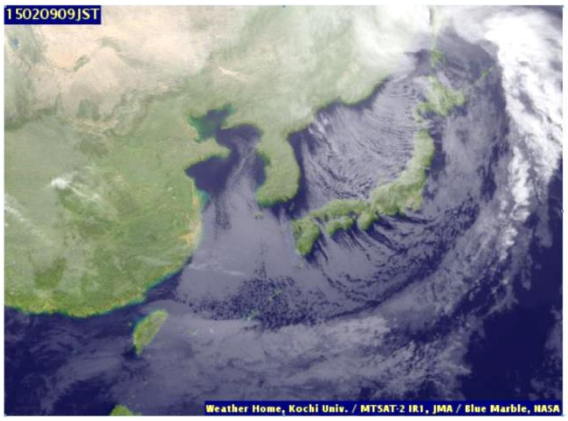


図 2　ひまわりの赤外画像（2015 年 2 月 9 日 9 時，高知大学（2015））

図 3 は 2015 年 2 月における日本近海の月平均海面水温分布である。図からわかるように日本海の海面水温は 3℃～12℃程度である（気象庁 a，2015)。シベリア気団の中心になることが多い地域はモンゴルやバイカル湖付近である。モンゴルのウ

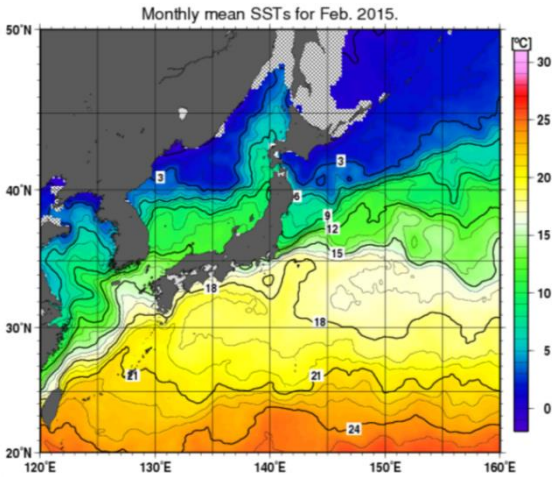


図 3　日本近海月平均海面水温分布（2015 年 2 月，気象庁 a（2015））

ランバートルの 2015 年 2 月の月平均気温は-12.9℃，ロシアのバイカル湖付近のイルクーツクは-12.8℃であるのに対し，日本海沿岸のウラジオストクは-7.1℃（気象庁 b，2015）と相対的に温かくなっている。しかしながらいずれの地点も海面水温と比べると遙かに低温で，10℃以上の温度差がある。

冬季日本海上を北西の季節風が吹き渡っているとき，「ひまわり」の気象衛星画像で日本海上に筋状の雲が発達していることが確認できる。小倉(1997)によればこれはベナール・レイリー型対流の雲の一種であり，シベリア大陸からの寒冷な空気が北西風の寒気の吹き出しとなって,海面温度が高い日本海上に入ると下から加熱されることにより起こる。ある程度大陸岸を離れ，大気の成層が十分不安定となったところで対流が起こり，その上昇気流のところに積雲ができると述べられている。このとき気象衛星画像を見ると，大略でいえば，海上では雲が発達するが大陸上では雲が発生しない。

冬季の筋状雲の形成は，大気の大規模な対流運動によって引き起こされる。前述のように，上空の空気が冷え海面が大気に比べて温暖なため，上空と海面に温度差が生じる。このとき発生するベナール・レイリー型対流は，一様に加熱した底面と冷たい上面があるときにその間にある流体が上昇と下降をすることで熱を移動させる。ベナール・レイリー型対流は細胞（セル）状に配列するが，流速が高さとともに変化する水平方向の流れがあると，上から見ると縞模様（筋状）が形成され，横方向から見るとロール状の渦が見られるようになる。

図 4 は，ベナール・レイリー型対流の模式図である。この図のように，対流内には上昇部分と下降部分がある。上昇する部分では，空気が上昇すると気圧が下がるので空気は膨張して気温が下がり，凝結温度以下になると雲ができる。

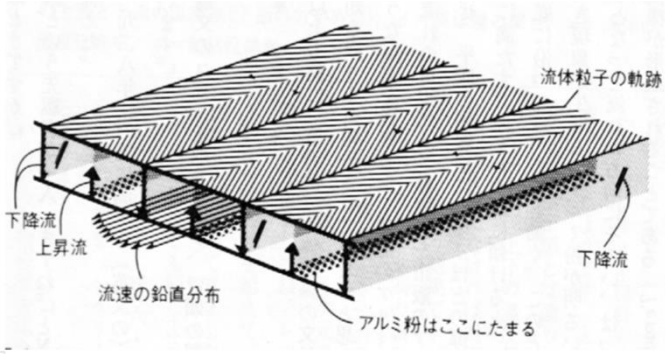


図 4　ロール状対流の模式図（木村，1980）

この対流の中に先に述べたように水平方向の流れが生じると，対流がロール状となる。図 5 は，ロール状対流の模式図である。冬季日本周辺で発生する筋状雲は，海面近くにロール状の対流を生じ上昇部分では積雲が発達し下降部分には雲が消散するため,筋のような形に見える。

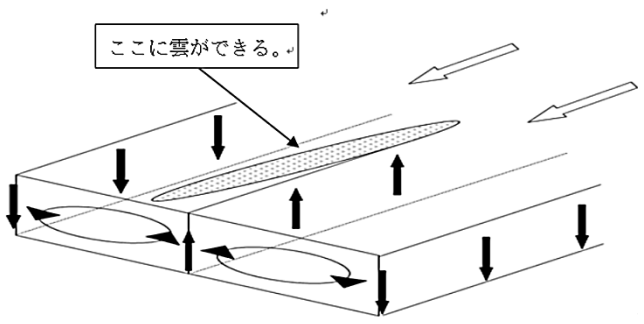


図 5　ロール状対流によって筋状雲が生じる概念

授業で使用可能な筋状雲のモデル実験装置の製作にあたり，ベナール・レイリー型対流

を実現するために必要なサイズと温度条件を検討する。対流現象が発生するかどうかは，レイリー数 Ra（1）が目安となる。

$$Ra=\frac{\alpha g \Delta T d^3}{\kappa \upsilon} \qquad (1)$$

ここで，α は流体の体積膨張率，g は重力加速度，ΔT は流体槽内の上面と下面の温度差，d は流体の厚さ，κ は流体の温度伝導率で，υ は動粘性係数である。対流現象の発生には，このレーリー数の値が臨界レイリー数 Ra_c を越えることが必要で，その値はほぼ 1700 である（菊池ほか，1988）。ここでどのくらいの温度差があれば雲が発生するのか検討する。

(1) 式を ΔT についてとくと，次の式が求められる。

$$\Delta T=\frac{\kappa \upsilon Ra}{\alpha g d^3} \qquad (2)$$

ここで，雲が明瞭に見られるすなわち対流が活発に行われる状況となると，この臨界レーリー数を大幅に超える必要があるので，仮に 10 倍の値を採用する。今回の場合の流体は空気で線香の粒子の影響は無視する。気体の体積膨張率 α はすべての気体で同じであり，体積膨張率 α を 1/271（$=0.00366K^{-1}$）とし，重力加速度 g は $9.8m/s^2$ を用いる。空気の温度伝導率 κ と動粘性係数 υ はどちらも気温によって変わる。0℃の空気が海面上に移流してきたとすると，その気温における空気の温度伝導率 κ は $1.87\times10^{-5}m^2/s$，動粘性係数 υ は $1.33\times10^{-5}m^2/s$ である（近藤，1994）。実験装置の空気層の厚さ d を 2cm とすると (2) 式により，ΔT は 14.7℃が求められる。流体槽内の上面は開放形なので，空気層の厚さ d をどうするのかということには議論の余地があるが，温度差のオーダーとしては授業で使う実験装置として製作可能である。よって，以下に示すモデル実験装置で，対流運動が発生し雲の発生を引き起こすことが可能であることを示すことができた。

３．筋状雲のモデル実験装置

3.1　実験装置の仕組み

冷気の送風装置は，2L ペットボトル 1 本，電動ファン，氷，線香，そしてセルで構成される。実験を再現する測定部は，陸に見立てた裏返しにしたトレーと，湯を張って海に見

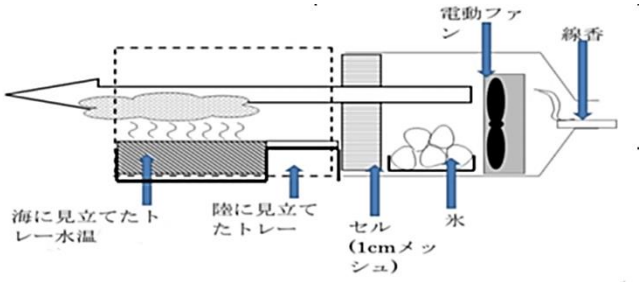


図 6　開発したモデル実験装置
破線はトレー両側に設置した「つい立て」を示す



図 7　電動ファン

立てたトレーである（図 6）。

今回改良した点は，まず送風機に電動ファンを利用して定常的で安定した風速の流れを作ったことである。次に水面上を吹送する一様な風の流れをつくるため、冷気の吹き出し口に冷気の整流装置すなわちセルを取り付けたことである。

電動ファンは，パソコン冷却用ファン（Panaflo 製，FBA06A12L）を利用した（図 7）。この電動ファンは 4V～10V まで，電圧を変えることで，風速を変えることができる。ネットショッピングにおいて 1 個 300 円程度で購入できる利点がある。

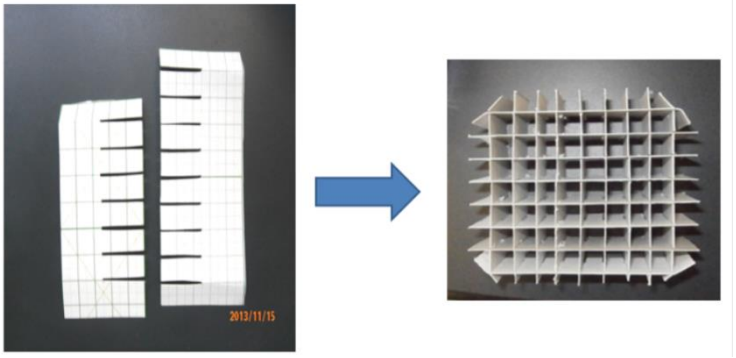


図 8　2 種類の厚紙を組み合わせて作ったセル

セルは冷気の吹き出し口付近に取り付けた。セルは，一定の格子間隔でマス目構造の部品である。一定間隔で切れ目を入れた，横 5cm，縦 10cm の厚紙と，横 5cm，縦 8.5cm の厚紙を互いにかみ合わせるようにして組み立てた（図 8）。厚紙は小学校などで使う工作用画用紙を切断して用いた。作成に当たり，木製の簡易風洞を自作し風洞実験を行った榊原(1989)を参考にした。その研究で作られた風洞の送風口サイズは 20cm 四方であり，風洞のセルの両端には金網メッシュが組み込まれセルを固定できるようになっていたが，今回製作した実験装置の送風装置は、風洞胴体部分をペットボトルとしたため小型であり、製作しやすさを優先しセルをペットボトルにはめ込んだだけのものである。



図 9　組み立てた実験装置

実験装置の胴体部分は，2L ペットボトルの底面を切断したものである。この切断面からペットボトル内に，電動ファン，氷，セルを図 9 のように並べた。そして，先に示した電動ファンを電源装置とつなぎ，電源装置の出力電圧を変えることで風速を変えて利用した。



図 10　デジタル風速計による風速の測定

次に，ペットボトルの飲み口の部分に火のついた線香を置いた。線香の煙は凝結核として利用され，水蒸気の凝結を助けるものである。装置を通過する空気は氷によって冷やされ，セルを通る際に風の流れは整えられ，大陸と海を見立てたトレーの上に送り出される。

氷の表面温度は放射温度計(ミノルタ製，505)を用いて測定した。風速の測定は，デジタル風速計((株)マザーツール製，AM-4212SD)を用いた。風速計のセンサー部分を，陸モデルのトレーから海モデルに変わる境界から 1cm ほど海モデル側の地点における水面の 1cm 上の地点に固定して，本実験の代表的風速として風速計の示度を読み取った（図 10）。

3.2　実験結果

筋状雲のモデル実験装置を用いて実験を行ったところ，筋状雲が出現した（図 11）。図からわかるように，陸を見立てたトレー上では雲の発生はないこと，海を見立てたお湯を張ったトレー上に達してはじめて雲ができること，そして明瞭な筋の形をした雲が発生することなどを再現できた。また，図４のような，上昇運動と下降運動が細胞状に配列する，ロール状の対流をいくつも確認できた（図 12）。



図 11　筋状雲の発生の様子

次に，この実験装置を利用して線香の有無，つい立ての有無，セルの有無，セルのメッシュサイズ，電動ファンの風速の違いが筋状雲の発生に与える影響を調べた。セルのメッシュサイズとは格子の間隔を意味する。

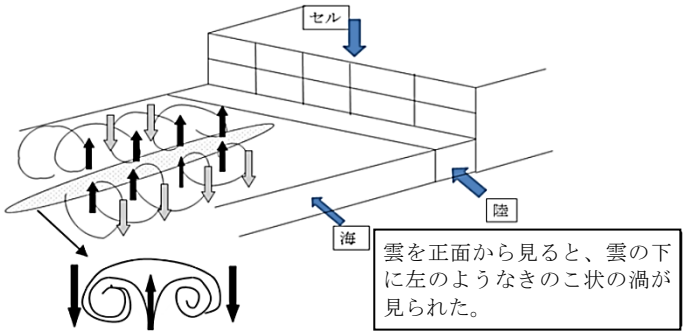


図 12　実験で発生した渦の形

今回実験を行った環境では，室温 15.7℃，湿度 43%，氷の表面温度－5.9℃,冷気風の気温 12.4℃で実験を行った。トレーに入れた温水の温度はおよそ 50℃としたが，実験が進行するに伴い水温は下がっていった。

また，実験の条件を統一するため，線香の有無，セルの有無，セルのメッシュサイズ，つい立ての有無，電動ファンの風速の違いの条件のうち，ひとつだけを変化させて，実験を行った。実験条件の基本設定は表 1 のとおりである。

表 1　実験の基本条件

実験条件	線香の有無	つい立ての有無	セルの有無 セルのメッシュサイズ	風速
基本設定	有り	有り	セル有り 1cm	0.43 m/s

3.2.1　線香の有無が筋状雲の発生に与える影響

図 13 は,線香をペットボトルの口に置かない場合(左)と，線香を置いた場合(右）の様子を示している。線香がない場合は筋状雲を認めることはできなかったが，線香がある場合では，明瞭な雲を確認できた。よって線香を利用することは不可欠である。きれいな空気では露点に達しても水蒸気が水滴にならず，空気は過飽和という状態になる。線香ありの実験では，陸上では線香の煙は不鮮明だが水面上で雲の発生を明瞭に確認できた。



図 13　線香を用いなかった場合(左)と用いた場合(右)の筋状雲発生の様子

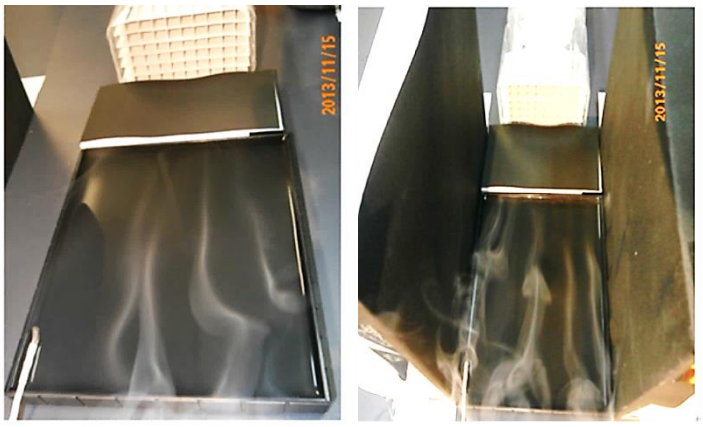


図 14　つい立てを用いない場合(左)と用いた場合(右)の筋状雲発生の様子

3.2.2　つい立ての有無が筋状雲の発生に与える影響

図 14 は,装置の両側面につい立てを用いない場合と用いた場合の筋状雲発生の様子である。どちらも筋状雲が認められたが，つい立てがないと流れが右側にずれて流れの先では蛇行していることが読み取れた。つい立ては気流を安定化する効果に加え，周囲の空気との混合を防ぐ効果があると考えられる。本実験を行うには，つい立てを設けるのが望ましい。



図 15　セルの有無，メッシュのサイズの違いによる雲の発生の様子

3.2.3 セルの有無とメッシュサイズが筋状雲の発生に与える影響

図 15 は，セルを用いた場合と，セルを用いない場合の雲のでき方，およびセルのメッシュを 0.5cm メッシュから 2.0cm メッシュまで変化させた時の雲の発生の様子である。セルがない場合でも筋状雲は発生しているが，筋は曲がって乱れていることがわかった。セルがあると筋が比較的まっすぐになっていた。

セルのメッシュサイズが 0.5cm，1.0cm の時には，雲の筋が比較的直線状になるが，メッシュサイズを大きくすると筋状雲が乱れてくることがわかった。よって，実験で用いる場合には，0.5cm～1.0cm メッシュのセルを用いたほうがよい。ただし，メッシュ間隔を細かくするとセルの作成に手間がかかる。よって，実験では 1.0cm メッシュのセルを用いて実験を行うものとする。

3.2.4 風速の違いが筋状雲の発生に与える影響

冷気の風速の違いによる筋状雲の発生の様子について検証する。電源装置の電圧を４V から 10V まで電圧を１V ずつ上げて，7 段階で風速をそれぞれ 0.32m/s，0.43m/s，0.58m/s，0.72m/s，0.86m/s，0.95m/s，1.06m/s と変化させた。その時の筋状雲の様子を風速ごとに図 16 に示す。まず，風速が 0.32m/s のとき，筋状雲が発生していたが，筋の本数は 3 本程度である。筋がまっすぐになっている部分の長さが相対的に短い。風速を 0.43m/s にすると，明瞭な筋が 3～4 本となった。さらに風速を大きくしていき，風速が 0.95m/s を超えた時には，筋の本数が 7～8 本程度確認することができた。以上のことから，風速を大きくすると，筋の本数が増えることがわかった。

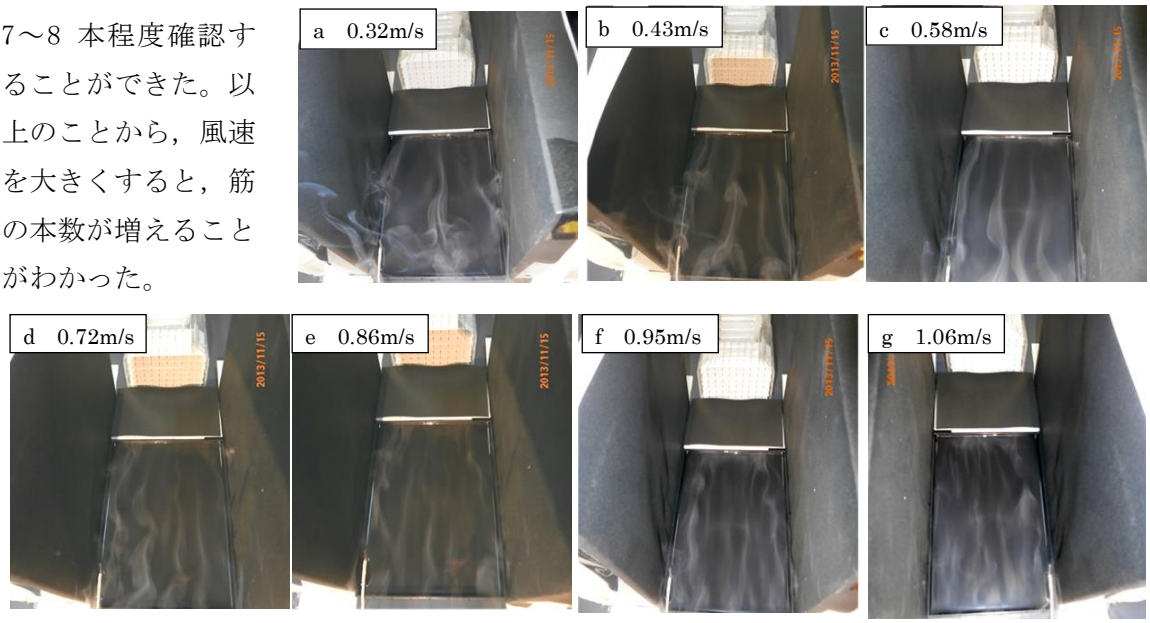


図 16　風速の変化による筋雲のでき方(水温 50.1℃，表面水温 47.4℃の時)

４　考察

本研究では陸モデル上では白い煙（雲）が現れることなく，海モデル部分に冷気が到達してはじめて白い煙（雲）が発生し，しかも筋状雲であることを観察できた。冷気を発生

する装置の吹き出し口から直接白い煙（雲）は出ることはなかった。これについては間處ら（2012）も同様な報告をしているが，今回開発した、送風装置に電動ファンを冷却剤に氷を利用し冷気の吹き出し口にセルを取り付けた装置は，より明瞭かつ連続的に白い煙（雲）を確認できるようになった。これにより，冬季シベリア高気圧から吹き出す北西季節風は乾燥しているのに関わらず日本海側で雲が発生することを生徒に気づかせるモデル実験となった。

本教材を利用する際の，実験の条件を検討して得た知見は以下の通りである。

1) 雲の発生には線香の煙を利用することが不可欠である。

2) 現象を再現する測定部の両側につい立てを立てることが望ましい。

3) 流れを整えるためにメッシュ構造のセルを冷気発生装置に組み込むことで，筋状雲が比較的にまっすぐになった。セルは筋状雲を明瞭にするために必要であり， 0.5cm と 1.0cm のメッシュサイズが筋状雲を明瞭に見るのに適当であった。

4)冷気発生装置から送り出される冷気の風速が小さいと筋状雲がまっすぐに進む距離が小さくなり，風速を大きくすると筋の本数が増える傾向が明らかにされたが，今回行った風速範囲では雲の発生には影響がない。

生徒は中学理科教科書により，寒冷で乾燥したシベリア気団が日本の冬の気候に関わっていることを学習している（有馬，2013）。冬季，日本周辺は北西の季節風が吹き，大陸上では雲が見られないあるいは少ないのに，冷気が海上に達ししばらくすると明瞭に雲が発生する。雲は海のところで発生することから，生徒は海面からの水蒸気の補給に気づき，空気を海モデル上に流せば雲が発生するのではないかと推測することが考えられる。

モデル実験を授業で行う際，モデルの各部分が自然の事物・現象の何に相当するのか生徒に理解させてから実験を行わせるべきであろう。そのために，雲の分布を把握する気象衛星画像だけでなく，海面水温分布などを利用することが考えられる。そのとき，海面水温と海モデル上を吹走する気温の大きな違いに気づかせるべきであろう。実験を行うと雲の発生が確認できるが，やがて水温が下がるにつれて雲が見られなくなる。このことから雲の発生には海面水温と上空の気温の大きな温度差が必要なのだと確証できるからである。

今回は，筋状雲を明瞭に観察することができたが，水温は 40℃～50℃程度であったので，「お湯から単に湯気が発生したのでは」という感想を持つ生徒が出てくることは予想できる。実験に利用する水は温められたお湯ではなく，実験室の水道から出てくる水をそのまま利用し，雲の発生が確認できることが望ましい。

2015 年の 2 月の日本海の海面水温は 3℃～12℃程度であったので，水温がこれに近い温度で雲の観察が可能になるとモデルと現実の現象がより強く結びつく。

そのためには，海面水温が仮に 12℃であったとしても実験装置の吹き出し口から出てくる気温を大幅に下げないと難しいことになる。少なくとも今回の実験では常温の水を使うと雲の発生を確認できなかった。

５　おわりに

これまで，日本の気象の単元は天気図や気象衛星画像を用いた説明中心の授業になることが多かった。その理由の一つに適当な教材がなかったことがあげられる。今回開発した実験装置は安価で,冷気発生装置の冷却剤としてドライアイスではなく氷を利用するため,準備が簡単であり，保管も可能である。教師による自作可能な教材であり，明瞭に雲の発生を確認できるため生徒実験としても学校で利用できると思われる。特に，水温，気温，風速，格子の大きさ，凝結核の有無など多くのパラメータが関与するため実験の自由度が大きく，学生主体の学習に利用されることが期待できる。中学生ばかりでなく，高校生，大学生と知識や思考力に応じて，利用できるだろう。

今後，生徒がこの実験装置を利用した実習において容易に筋状雲を確認できるのか，その発生の様子と実際の日本周辺の雲の様子とを関連づけてとらえることができるのか，日本の天気に影響を与える気団の性質や季節風との関わりを理解できるのかなど，教育実践を通して評価する必要がある。また，発生した白い煙（雲）が単なるお湯から出てきた湯気だと誤解させないため，そしてモデルを現実の条件と近くするためにも，常温の水を用いて筋状雲を発生させる装置の開発も今後の課題である。そして，発生した白い煙（雲）が線香の煙と異なることも，どのように気づかせるかも考えなければならない。また，風速を大きくすると筋状雲の本数が増える物理過程については分からなかった。今後の課題としたい。

謝辞

開発した実験装置について，プール学院大学教育学部の間處耕吉様から有益な助言をいただいた。心より感謝申し上げます。

文献

有馬朗人ほか（2013）：理科の世界２年,大日本図書株式会社，東京，304p.

菊池勝弘・橋爪道也・北林興二（1988）：実験気象学入門,東京堂出版，東京，235p.

気象庁 a（2015）日別海面水温,http://www,data,jma,go,jp/kaiyou/data/db/kaikyo/daily/sst_HQ,html（2015. 6. 25 閲覧）.

気象庁 b（2015）：データリスト（世界の天候データツール）,http://www,data,jma,go,jp/gmd/cpd/monitor/climatview/list,php?&s=1&r=1&y=2015&m=2&e=0&k=0（2016. 6. 29 閲覧）.

気象庁予報部予報課（2015）日々の天気図・今月のひまわり画像 2015 年 2 月,天気，62,pp300-302.

木村竜治（1980）：流れの科学－自然現象からのアプローチ,東海科学選書，神奈川，231p.

高知大学（2015）気象情報頁,http://weather,is,kochi-u,ac,jp/（2015. 4. 25 閲覧）.

国立教育政策研究所（2005）： 平成 15 年度小・中学校教育課程実施状況調査,

http://www,nier,go,jp/kaihatsu/katei_h15/（2015. 4. 25 閲覧）.
近藤純正(1994)：水環境の気象学,朝倉書店，東京，348p.
間處耕吉・林　武広・田中庸介・三島安城(2012)：冬季日本海上で発生する雲の簡易モデル実験, 地学教育，65，161-167.
文部科学省（2008）：中学校学習指導要領解説理科編（平成 20 年 9 月）, 大日本図書，東京，149p.
名越利幸・木村龍治（1994）：気象の教え方学び方,東京大学出版会，東京，217p.
二宮洸三（2008）：日本海の気象と降雪, 成山堂，東京，190p.
小倉義光(1997)：一般気象学, 東京大学出版会, 東京，207p.
榊原保志(1989)：木製簡易風洞の製作とその利用―理科教材化への試み―, 地学教育，42，199-204.
吉野正敏ほか(1985)：気候学・気象学辞典, 二宮書店，東京，224p.

(2017年 7月 4日　受付)
(2017年 9月19日　受理)